

大学・博物館等に保存された海藻の証拠標本を用いた 浅海域の環境変動の推定

富塚朋子^{a,*}, 岩槻邦男^b, 宮田昌彦^a

^a 千葉県立中央博物館分館 海の博物館 299-5242 千葉県勝浦市吉尾 123

^b 兵庫県立人と自然の博物館 669-1546 兵庫県三田市弥生が丘 6

Estimation of Environmental Changes on Shallow Seawater by the Use of Voucher Specimens of Seaweeds Preserved in Universities and Museums

Tomoko TOMIZUKA^{a,*}, Kunio IWATSUKI^b and Masahiko MIYATA^a

^a Collaborative Researcher, Coastal Branch of Natural History Museum and Institute, Chiba,
123, Yoshio, Katsuura, 299-5242 JAPAN;

^b The Museum of Nature and Human Activities, Hyogo,
6, Yayoigaoka, Sanda, Hyogo, 669-1546 JAPAN;

*Corresponding author: tomizuka@shiraishi-law.jp

(Accepted on September 6, 2011)

The changes in the seaweed flora over 95 years (1914–2009) were examined by $[I/H]_{RCP}$, an index of estimation of the cold or warm temperate floras, for the estimation of environmental changes of shallow seawater at Tateyama Bay (34.98°N, 139.86°E) in Boso Peninsula, Japan, based on the voucher specimens preserved in herbaria of universities and museums. The index, clearly shows that the changes in seaweed flora closely correlate with a rising trend of the yearly mean surface seawater temperature in winter at Tateyama Bay. This suggests that voucher specimens of seaweeds are available as a measure to estimate the environmental change of the sea.

Key words: Environmental change, $[I/H]_{RCP}$, seawater temperature, seaweed flora, voucher specimens.

1955–2004 年の 50 年間に地球システム全体が加熱され、大気に貯えられた熱量の約 84% が海洋全体に貯熱されたと推定される。それは表層数百メートルにおいて海水温が著しく上昇し、海洋全体の平均で 0.037°C の昇温に相当する (Levitus et al. 2005, IPCC 2007)。このような短期間の大気温の上昇による急激な地球温暖化は、海水温の上昇をもたらし海洋環境の急激な変動を意味する。それは海洋生態系と海洋生物の生活史に直接、間接的に影響し、大型の海産藻類（以下「海藻」と称する）の種の分布域の変動や絶滅などを

誘導する可能性を示唆する（津田ほか 2006）。そして、地球環境は非定量性の高いものであり、全体として量的に示すことが難しい。しかし、地球レベルの環境変動は地域環境の変動が統合されたものであり（寺田 2001）、それぞれの地域環境の変動を把握することで全球的な環境変動を推定することが可能である。特に、地球の 7 割を占める海域環境の変動を知るためには、とりわけ浅海域の環境変動のモニタリングは極めて重要である。そのための指標として、無機的な環境要素としての海水温、酸性度、BOD（生物化学的酸素要求

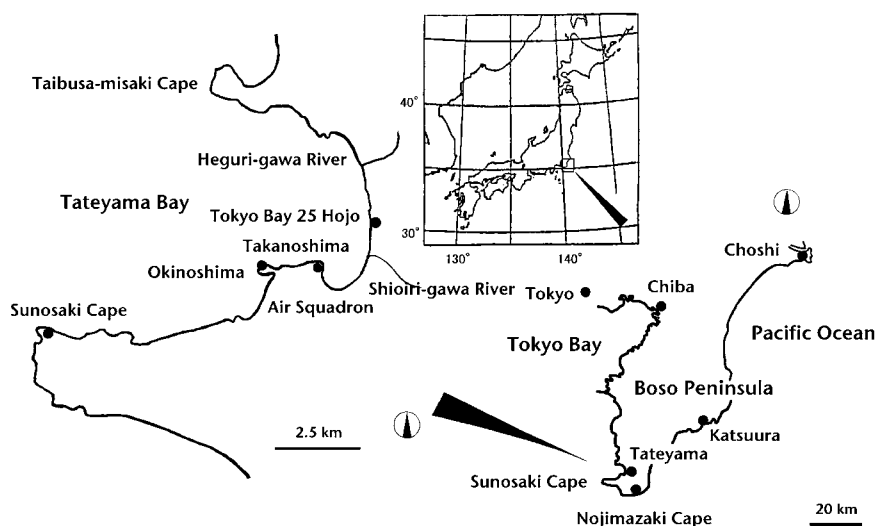


Fig. 1. Maps showing sites examined at Tateyama Bay in Boso Peninsula, Japan.

図 1. 研究対象地区とした房総半島・館山湾。

量), COD (化学的酸素要求量) や海産生物 (海藻等) が手がかりを与える。特に海藻は, 短期間の浮遊期 (四分孢子, 果孢子, 単孢子, 精子, 受精卵) を除いて固着性の世代が優占する海洋生物であり, 水温など無機的な環境諸要素に対して受動的な反応を示すことから, 水界生態系において魚類など移動性の高い生物と比較して海域の環境変動をモニタリングするための指標として有効である。

本研究は, 大学や博物館等に収集・保管されてきた莫大な量の海藻の証拠標本を用いた実験的な試みとして, 館山湾における 95 年間 (1914–2009) の海藻相を時系列的に復元し, その変化を温度環境の評価指数 $[I/H]_{RCP}$ (富塚ほか 2011) で示して表面海水温 (温度環境) の変化との相関を調べたものである。その結果, 館山湾における表面海水温のモニタリングの可能性を示し, 過去に採集された証拠標本の環境資料としての有効性を検証したので報告する。

材料と方法

1. 調査地

日本列島の太平洋沿岸中部, 房総半島の先端に位置する館山湾 ($34.98^{\circ}\text{N}/139.86^{\circ}\text{E}$) を調査地とした (Fig. 1)。館山湾は, 大島を迂回した暖流系水 (黒潮の分岐流) が直接当たる海域であり,

海洋生物の種の多様性が高く (宮田ほか 2002), 歴史的に大学等の研究機関が研究フィールドとしてきたことから, 収集した多様な海洋生物の資料が保存されていて, 過去に遡って時系列的な海藻相の復元が可能である。

2. 調査した標本

海藻の証拠標本が確認できる, 館山湾の 95 年間 (1914–2009) における時系列的な海域環境を推定するために, 大学や博物館等の植物標本室に保存されている館山湾に由来する海藻の証拠標本を文献をもとに再調査して再同定し, 比較のために現生の海藻相を調べた。

(1) 文献調査をもとに, 海藻の証拠標本の収集・保管状況の調査を行い (東 1908, 1929, 1935a, 1935b, 千原 1958, 岡本 1963, 1964, 1965, 大西 1975, Ohba et al. 1988, 宮田 1993, 1998, 宮田ほか 1997, Miyata et al. 1999, 菊地ほか 2007), 1914–2009 年の間に採集された海藻標本を調べた。すなわち, 関東大地震前後を中心とした 1920–1930 年代の標本群 (首都大学東京牧野標本館 (MAK)・国立科学博物館 (TNS)・千葉県立中央博物館 (CBM) 所蔵, 約 10,000 点), 第二次世界大戦を経て高度経済成長期の 1970 年代の大西一博の標本群 (お茶の水女子大学 (TATE)・首都大学東京牧野標本館所蔵, 約 300 点), 平成景気

期の1980年代の坂田実験所の標本群（東京海洋大学(TUF)所蔵、約200点）、1970年代から現在(2009)までの千葉県立中央博物館の標本群（約9,000点）等を含む約25,000点であった。

(2) 本研究において注目した採集地は、館山湾の南部に位置する沖ノ島と高ノ島を中心に北端の大房岬から西端の洲崎、及び東部湾奥の北条海岸であった。特に潮間帯から漸深帯上部で調査と採集を行なった。原則、流れ藻は除き、参考資料とした。用いた標本資料は現在の分類体系（吉田・吉永2010）及び国際植物命名規約（ウィーン規約2006）（McNeill J. et al. (eds.) 2006）に準拠した再同定を行なった。外部形態より再同定が難しい標本は、その一部を水又は20℃～45℃湯に10分～2日漬けて戻し、徒手切片を作成して表皮細胞・生殖細胞等を顕微鏡観察して同定した。また、現生の採集標本を乾燥し、細胞組織の変化をみて、保存標本と比較することも行なった。

(3) 保存された証拠標本の環境資料としての有効性を評価するために、標本ラベルから生育環境等のデータ（採集年月日、採集地、採集者、同定者）を収集し、比較のために当時標本が採集された同じ場所とその周辺で採集を行なった。

3. 館山湾における95年間(1914–2009)の環境変動

地殻変動に起因する大規模な海底の隆起または沈降の前後で起こる海底地形と海流に影響される水温、そして河川等に影響される水質の変化は海藻の生育基質の変質と消失を誘導し、また、海藻の生活史にも影響して海藻相の種の多様性を変化させる可能性がある。そこで、海底地形の変化と水温、水質の変化を基に、館山湾の95年間の無機的な海域環境の動態を1～5期に分け、海藻相を復元した。

生物化学的酸素要求量(BOD)をはじめとする各種の水質環境要素は、藻体の代謝活性に直接影響するとともに、海中の懸濁物質の濃度を高めて海底に到達する光の量を減衰することで光合成活性に間接的に影響し、海藻の生育環境を規定する海域環境の動態要因である。これらの水質環境要素を海底地形、水温とともに海域環境の動態を評価するマーカーとし、水産用水基準値（海藻が生育または繁殖が可能な基準値）（日本水産資源協会2006、昭和58年3月、改正平成18年3月）を用いた（日本水産資源保護協会1972、1992、

2006）。すなわち、海藻の生存と繁殖、分布に影響し、水質環境の変化をみる基準値として用いた。特に、館山湾内の①生物化学的酸素要求量(BOD)、②化学的酸素要求量(COD)、③溶存酸素(DO)、④浮遊物質(SS)の変化を重視し、さらに⑤全有機炭素(TOC)、⑥塩素イオン(Cl)、⑦アンモニア性窒素(NH₄-N)、⑧陰イオン界面活性剤(MBAS)及び家庭用合成洗剤(ABS)、⑨電気伝導度(EC)の変化を参考とした。

(1) 1期(1914–1929)

館山湾の地形変動は、高ノ島(35.59°N/139.50°E)と沖ノ島(35.59°N/139.49°E)が湾内に独立した島であったが(1903)、関東大地震(1923)で海底が1.57m（館山市北条町）隆起し、高ノ島まで歩けるほどの浅瀬が出現したことから(1929)、採集標本が確認できた1914年から1929年を1期とした。

(2) 2期(1930–1953)

第二次世界大戦時(1931–1945)に海軍航空隊基地建設のため浅瀬が埋立てられて高ノ島が陸地化した(1930–1944)。その結果、湾内の右回りの海流の流速、流量、流程、流向が変化し、湾奥部の砂浜から流出した砂が堆積して沖ノ島が陸繋島となった(1953)（館山市史編さん委員会（編）1971、館山市立博物館2002）。2つの島が陸地化した1930年から1953年までを2期とした。

(3) 3期(1954–1976)

2期の末期から始まった湾北部船形港の五ヵ年計画の修築工事(1950–1955)、北防波堤新設工事を含む館山港の五ヵ年計画の修築工事(1952–1957)、海上警備隊（現海上自衛隊）館山航空隊の設置(1953)など、湾内の埋立ての影響を受け、冬季平均表面海水温が15.33℃～15.03℃(1952–1953)で安定していたものが、1954年を境として、著しく変動し(13.66℃～16.10℃1954–1968)、全体として上昇した（銚子地方気象台・館山測候所1912–1940、1941–1949、1950–1982、千葉県環境生活部水質保全課1971–2009）。そこで、3期の始まりを1954年とした。すなわち1954年から1976年を3期とした。

(4) 4期(1977–1994)及び5期(1995–2009)

その後、海底地形の変動はなかった。そこで、海藻の生育環境の一要素である水質に注目して、3期、4期、5期を分けた。館山湾の計器による水質観測が1970年代から始まり、湾奥東部館山市北条海岸沖（東京湾25番サイト）と館山湾に

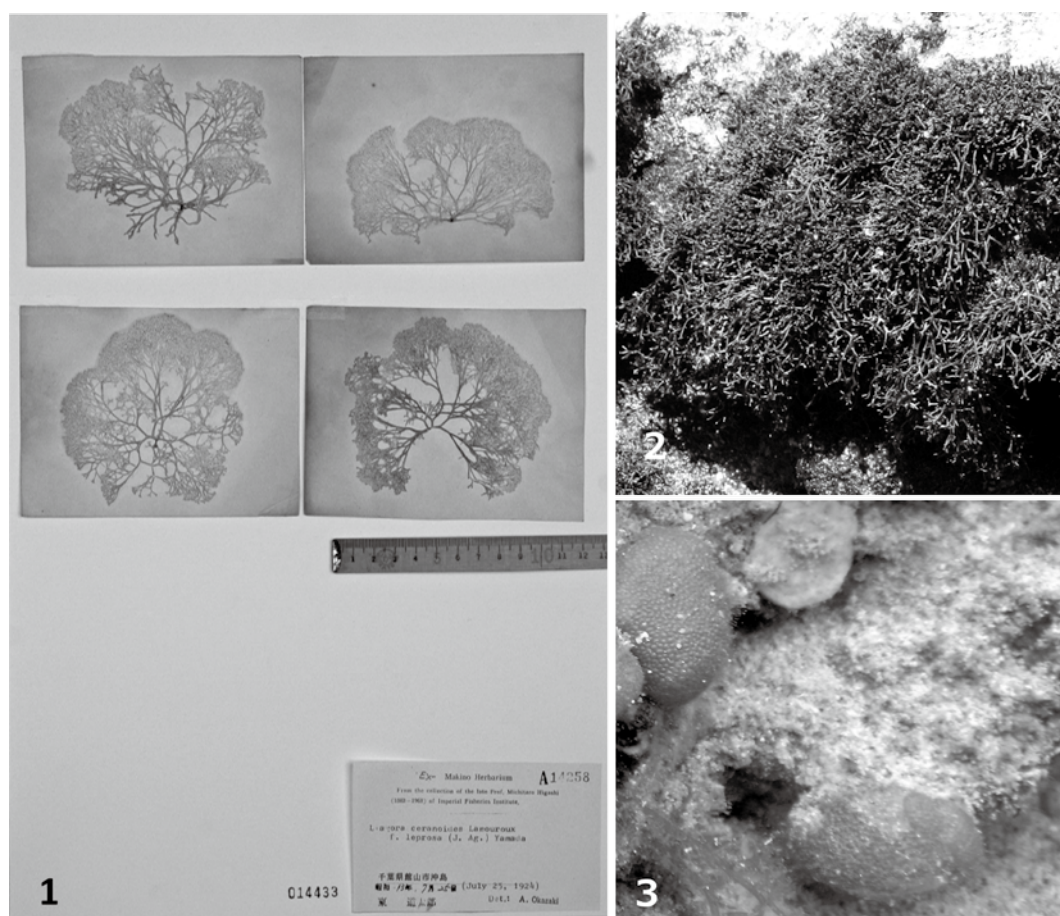


Fig. 2. 1. *Liagora ceranoides* Lamouroux (as *Liagora ceranoides* Lamouroux f. *leprosa* (J. Agardh) Yamada,) Okinoshima-island, Tateyama-shi, 1924.7.25, M. Higashi, MAK A14258, CBM 014433 (voucher specimen from the time point 1). 2. *Ahnfeltiopsis concinna* (J. Agardh) Silva & DeCew, Okinoshima-island, Tateyama-shi, 2007.5.18, T. Tomizuka (appeared since the time point 4). 3. *Dictyosphaeria cavernosa* (Forsskal) Boergesen, Taimai-hama-Nishi, Taibusa-misaki, Tomiura-machi, Minamiboso-shi, 2003.3.24, T. Tomizuka (appeared at the time point 5).

図2. 1. コナハダ (アオコナハダとして), 館山市沖ノ島, 東 道太郎採集, MAK A14258, CBM 014433 (1期に出現した). 2. サイミ, 館山市沖ノ島, 富塚朋子 (4期から出現した). 3. キッコウグサ, 南房総市富浦町大房岬タイマイ浜西, 富塚朋子 (5期に出現した).

流入する河川 (汐入川, 平久里川) 河口海域における水質環境の変動が詳細に観測された (千葉県環境生活部水質保全課 1971–2009) (Fig. 1).

BOD が 6.0 ~ 8.0 mg/L(1973–1976)から 13.0 mg/L(1977) に, COD が 1.0 mg/L(1976)から 1.8 mg/L(1977) に, SS が 13.67 mg/L(1976)から 21.00 mg/L(1977) に急上昇し, DO が 7.95 mg/L(1976)から 6.90 mg/L(1977) に下がったことにより (千葉県環境生活部水質保全課 1976–1995), 3期を 1954 年から 1976 年とした.

DO が 6.50 mg/L(1994) から 9.10 mg/L(1995) に上昇したことにより (千葉県環境生活部水質保全課 1989–2009), 4期を 1977 年から 1994 年とした. そして, 5期を 1995 年から 2009 年とした.

4. 館山湾における 95 年間 (1914–2009) の海藻相の復元

館山湾の環境変動に対応して, 95 年間 (1 ~ 5 期) に湾の岩礁生態系と砂浜生態系に成立した海藻相を証拠標本と採集標本を用いて時系列的に復

元した。各期に出現する証拠標本に由来する海藻相の特性を評価する際、潮間帯から漸深帯上部に生育分布する優占種及び普通種に注目し、深海性種を除いた。それは、採集のし易さと標本の保存を考慮したからである。また、亜熱帯に分布の中心がある種（亜熱帯種）と亜寒帯に分布の中心がある種（亜寒帯種）に注目した。そして、保存された証拠標本の種とその生育分布特性（季節性、生活型としての一年生か、多年生か）、標本ラベルの記載内容、記載された同じ場所の現在の生育基質の状況と海藻の生育分布状況を考慮した。

5. 海水温の測定データ

館山湾の海水温の測定は、館山湾内高ノ島にあった農商務省水産講習所の実験場が1909–1922年に観測した表面海水温の観測データがあるが（神谷 1922）、実験場が館山湾外に移転したため高ノ島付近の1932年以降の海水温の定点・定時観測はなされていない。そこで、1912–1975年に継続して同一条件で観測されたデータは、館山測候所の観測記録である「気象月表原簿」（銚子地方気象台・館山測候所1912–1940）、「海洋観測原簿」（銚子地方気象台・館山測候所1941–1949）、「海洋沿岸観測月表」（銚子地方気象台・館山測候所1968–1982）を用いた。観測地点は1945年5月の資料に「築港館山栈橋」とあるほかには記載がない（銚子地方気象台・館山測候所1912–1940, 1941–1949）。しかし、1922年の地図に測候所の近くに栈橋があることから（千葉県（編）1922）、館山測候所周辺の沿岸で観測されたとされる。また、1968年10月1日以降の「海洋沿岸観測月表」に観測地点として館山湾内館山栈橋と明記され、海水温の測定地点はいずれも北条海岸沿岸付近である。1976–2009年は、「公共用水域水質測定結果及び地下水の水質測定結果」の記録を用いた。観測地点は、「東京湾 25(N 35°00'00"/ E 139°51'00") 北条沿岸」である（千葉県環境生活部水質保全課 1971–2009）。

館山湾が位置する本州太平洋沿岸中部地域に優占する海藻の多くが、冬季から早春に成長期と成熟期があることから、海域環境の主な変動要因として、冬季平均表面海水温を用いた。各年の冬季（12月～2月）の表面海水温の平均を冬季平均表面海水温とした。

6. $[I/H]_{RCP}$ と表面海水温の相関

上記の1～5期について時系列的な海藻相の復元を試み、 $[I/H]_{RCP}$ （富塚ほか 2011）を求めた。 $[I/H]_{RCP}$ は海藻相がどのような温度環境に適応して成立しているのかを評価する指数で、調査海域に生育する緑藻、褐藻、紅藻の同型世代交代を行う種数と世代交代を行わない種数の合計 $[I]$ と、異型世代交代を行う種数 $[H]$ の比の値が大きいほどより温暖な海域の海藻相であることを示す。海藻相から得られた $[I/H]_{RCP}$ と表面海水温の相関を調べ、ピアソンの積率相関係数を求めた（岩永ほか 2004）。

結果と考察

1. 館山湾における 95 年間の海藻相の変化

(1) 1 期 (1914–1929)

出現種数：176 種（緑藻 27 種、褐藻 51 種、紅藻 98 種）、 $[I]$: 138 種（緑藻 25 種、褐藻 33 種、紅藻 80 種）、 $[H]$: 37 種（緑藻 2 種、褐藻 18 種、紅藻 17 種）、 $[IH]$ 不明 : 紅藻 1 種

特徴的な種は、紅藻フクロガラガラ *Galaxaura obtusata* (Ellis & Solander) Lamouroux, ホソバガラガラ *G. stupocaula* Kjellman, コナハダ *Liagora ceranoides* Lamouroux（アオコナハダとして）(Fig. 2-1), ヨゴレコナハダ *L. japonica* Yamada, ハイコナハダ *Yamadaella caenomyce* (Decaisne) Abbott, テングサモドキ *Gelidiopsis repens* (Kuetzing) Schmitz, ヒメズタ *Taenioma perpusillum* (J. Agardh) J. Agardh, 緑藻タテヤマズタ (*Caulerpa okamurae* f. *oligophylla*), スリコギズタ *C. racemosa* var. *laete-virens* (Montagne) Weber van Bosse, 褐藻ジガミグサ *Stypopodium zonale* (Lamouroux) Papenfuss 等であり、亜熱帯要素が付加された海藻相であったことを示唆する。

(2) 2 期 (1930–1953)

出現種数：151 種（緑藻 29 種、褐藻 42 種、紅藻 80 種）、 $[I]$: 118 種（緑藻 27 種、褐藻 29 種、紅藻 62 種）、 $[H]$: 30 種（緑藻 2 種、褐藻 13 種、紅藻 15 種）、 $[IH]$ 不明 : 紅藻 3 種

特徴的な種は、フクロガラガラ、紅藻イトクズグサ *Tolypocladia glomerulata* (C. Agardh) Schmitz, ヨゴレコナハダ, ハイコナハダ, テングサモドキ, ヒメズタ, 褐藻ハイオオギ *Lobophora variegata* (Lamouroux) Womersley, ジガミグサ, 緑藻サイノメアミハ *Struvea anastomosans* (Harvey) Piccone & Grunow 等

Table1. Seaweeds appeared at all five terms (1914–2009)

表1. 1～5期(1914–2009)全期に出現した海藻

	和名	学名	和名	学名
緑藻	ヒトエグサ	<i>Monostroma nitidum</i> Wittrock	オバクサ	<i>Pterocladia tenuis</i> (Okamura) Shimada, Horiguchi & Masuda
	アナアオサ	<i>Ulva pertusa</i> Kjellman	ヒラクサ	<i>Pilophora subcostata</i> (Okamura) Norris
	ホソジュズモ	<i>Chaetomorpha crassa</i> (C. Agardh) Kuetzing	フクロフノリ	<i>Gloiopeltis furcata</i> (Postels & Ruprecht) J. Agardh
	チャシオグサ	<i>Cladophora wrightiana</i> Harvey	コメノリ	<i>Polyopes prolifer</i> (Hariot) Kawaguchi & Wang
	ヘライワズタ	<i>Caulerpa brachypus</i> Harvey	ムカデノリ	<i>Grateloupia filicina</i> (Lamouroux) C. Agardh
	フサイワズタ	<i>Caulerpa okamurae</i> Weber-van Bosse	キョウノヒモ	<i>Polyopes lancifolius</i> (Harvey) Kawaguchi & Wang
	ハイミル	<i>Codium adhaerens</i> (Cabrera) C. Agardh	ツルツル	<i>Grateloupia turriturum</i> Yamada
	ナガミル	<i>Codium cylindricum</i> Holmes	タンバノリ	<i>Grateloupia elliptica</i> Holmes
	クロミル	<i>Codium divaricatum</i> Holmes	キントキ	<i>Grateloupia angusta</i> (Okamura) Kawaguchi & Wang
	ミル	<i>Codium fragile</i> (Suringar) Hariot	シキンノリ	<i>Chondracanthus teedii</i> (Roth) Kuetzing
	モツレミル	<i>Codium intricatum</i> Okamura	スギノリ	<i>Chondracanthus tenellus</i> (Harvey) Hommersand
	ヒラミル	<i>Codium latum</i> Suringar	ツノマタ	<i>Chondrus ocellatus</i> Holmes
褐色	ネバリモ	<i>Leathesia difformis</i> (Linnaeus) Areschoug	オゴノリ	<i>Gracilaria vermiculophylla</i> (Ohmi) Papenfuss
	カゴメノリ	<i>Hydroclathrus clathratus</i> (C. Agardh) Howe	シラモ	<i>Gracilaria parvispora</i> Abbott
	ハバノリ	<i>Petalonia binghamiae</i> (J. Agardh) Vinogradova	オオオゴノリ	<i>Gracilaria gigas</i> Harvey
	ワカメ	<i>Undaria pinnatifida</i> (Harvey) Suringar	ミゾオゴノリ	<i>Gracilaria incurvata</i> Okamura
	クロメ	<i>Ecklonia kurome</i> Okamura	カバノリ	<i>Gracilaria textorii</i> (Suringar) Hariot
	アラメ	<i>Eisenia bicyclis</i> (Kjellman) Setchell	イバラノリ	<i>Hypnea asiatica</i> Geraldino, Yang, Kim & Bo
	ヤハズグサ	<i>Dictyopteris latiuscula</i> (Okamura) Okamura	カギイバラノリ	<i>Hypnea japonica</i> Tanaka
	ヘラヤハズ	<i>Dictyopteris prolifer</i> (Okamura) Okamura	サイダイバラ	<i>Hypnea saidana</i> Holmes
	シワヤハズ	<i>Dictyopteris undulata</i> Holmes	タチイバラ	<i>Hypnea variabilis</i> Okamura
	アミジグサ	<i>Dictyota dichotoma</i> (Hudson) Lamouroux	オキツノリ	<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i> (Harvey) Masuda
	サナダグサ	<i>Pachydactyon coriaceum</i> (Holmes) Okamura	ハスジグサ	<i>Stenogramma interrupta</i> (C. Agardh) Montagne
	ウミウチワ	<i>Padina arborescens</i> Holmes	ユカリ	<i>Plocamium telfairiae</i> (Harvey) Harvey
	コナウミウチワ	<i>Padina crassa</i> Yamada	ホソバナミノハナ	<i>Portieria hornemannii</i> (Lyngbye) Silva
	ヒジキ	<i>Sargassum fusiforme</i> (Harvey) Setchell	ナミノハナ	<i>Portieria japonica</i> (Harvey) Silva
	アカモク	<i>Sargassum horneri</i> (Turner) C. Agardh	アツバナノリ	<i>Sarcodia ceylanica</i> Harvey ex Kuetzing
	ノコギリモク	<i>Sargassum macrocarpum</i> C. Agardh	トサカノリ	<i>Meristotheca papulosa</i> (Montagne) J. Agardh
	タマノハキモク	<i>Sargassum muticum</i> (Yendo) Fensholt	ミリシ	<i>Solieria pacifica</i> (Yamada) Yoshida
	ヤツマタモク	<i>Sargassum patens</i> C. Agardh	ワツナギソウ	<i>Champia parvula</i> (C. Agardh) Harvey
	マメタワラ	<i>Sargassum piluliferum</i> (Turner) C. Agardh	フシツナギ	<i>Lomentaria catenata</i> Harvey
	オオバモク	<i>Sargassum ringgoldianum</i> Harvey ssp. <i>ringgoldianum</i>	ケイギス	<i>Ceramium tenerum</i> (Martens) Okamura
	ウミトラノオ	<i>Sargassum thunbergii</i> (Mertens ex Roth) Kuntze	カギウスバノリ	<i>Acrosorium venulosum</i> (Zanardini) Kylin
紅藻	フサノリ	<i>Scinaia japonica</i> Setchell	ハイウスバノリ	<i>Acrosorium yendoii</i> Yamada
	ニセフサノリ	<i>Scinaia okamurae</i> (Setchell) Huisman	ミツデソノ	<i>Laurencia okamurae</i> Yamada
	マクサ	<i>Gelidium elegans</i> Kuetzing	キブリイトグサ	<i>Neosiphonia harveyi</i> (Bailey) Kim, Choi, Guiry & Saunders
	オオブサ	<i>Gelidium pacificum</i> Okamura		

ある。

分布の中心が本州南部でアカモク *Sargassum horneri* (Turner) C. Agardh に似るが1年生で雌雄同株のシダモク *Sargassum filicinum* Harvey が分布し、1期と同様の海藻相であった。

(3) 3期(1954–1976)

出現種数：140種(緑藻22種、褐藻36種、紅藻82種)、[I]：114種(緑藻21種、褐藻21種、紅藻72種)、[H]：25種(緑藻1種、褐藻15種、紅藻9種)、[IH不明]：紅藻1種

本州南部に分布する褐藻ネジモク *Sargassum sagamianum* Yendo を確認した。しかし、1～2期に渡って出現した亜熱帯に分布の中心があるフクロガラガラ、ヨゴレコナハダ、ハイコナハダ、テングサモドキ、ヒメズタ、ジガミグサ、スリコギズタなどは証拠標本群から確認できなかった。

サイノメアミハ、紅藻クビレオゴノリ *Gracilaria blodgettii* Harvey は記録されていない(大西1975)。

(4) 4期(1977–1994)

出現種数：273種(緑藻44種、褐藻67種、紅藻162種)、[I]：224種(緑藻39種、褐藻44種、紅藻141種)、[H]：47種(緑藻5種、褐藻23種、紅藻19種)、[IH不明]：紅藻2種

日本列島本州南部の温帯域から亜熱帯に分布の中心があり、潮間帯上部にマット状の大きな群落をつくる紅藻サイミ *Ahnfeltiopsis concinna* (J. Agardh) Silva et DeCew(Fig. 2-2)が採集され、以後、確認されている(Miyata et al. 1999)。

(5) 5期(1995–2009)

出現種数：246種(緑藻37種、褐藻65種、紅藻144種)、[I]：203種(緑藻34種、褐藻44種、

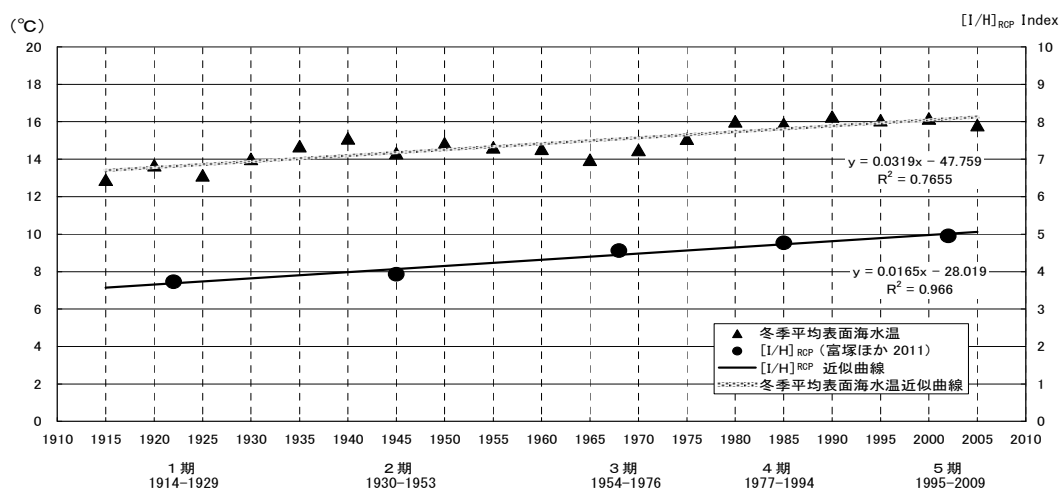


Fig. 3. The change of the yearly mean surface seawater temperature in winter in Tateyama Bay and changing $[I/H]_{RCP}$ of the flora of seaweeds at 5 terms (1914–2009). (▲): temperature (°C), (●): $[I/H]_{RCP}$ (The yearly mean surface seawater temperature in winter generated from the data of Choshi Local Meteorological Observatory, Tateyama Meteorological Observatory (1912–1975), and Water Quality Division, Environmental and Community Affairs Department, Chiba prefecture (1976–2009).)

$[I/H]_{RCP}$ value, as an indicator of the species diversity of the flora of seaweeds correlated to the yearly mean surface seawater temperature in winter, shows uptrend.

図3 館山湾における冬季平均表面海水温と1～5期の海藻相の $[I/H]_{RCP}$ の変化(1914–2009年)。(▲):温度(°C), (●): $[I/H]_{RCP}$ (冬季平均表面海水温は銚子地方気象台・館山測候所(1912–1975), 千葉県環境生活部水質保全課(1976–2009)のデータより作成)。冬季平均表面海水温と $[I/H]_{RCP}$ の変化は上昇傾向を示し、海水温の上昇と相関して暖海性の海藻相に変化している。

紅藻125種), [H]:41種(緑藻3種, 褐藻21種, 紅藻17種), [IH不明]:紅藻2種

熱帯から亜熱帯域に分布の中心がある緑藻キッコウグサ *Dictyosphaeria cavernosa* (Forsskal) Boergesen (Fig. 2-3)を館山湾北部に位置する大房岬で潮間帯中部の褐藻ヒジキ *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell 群落の中で確認し、以後分布した(菊地ほか2007)。2011年の館山湾の報告に熱帯から亜熱帯域に分布の中心がある褐藻ヤレオオギ *Homoeostrichus flabellatus* Okamura, 紅藻ナンカイトサカモドキ *Callophyllis mageshimensis* Tanakaがある(菊地2011)。

海藻相は、熱帯性種あるいは亜熱帯性種の付加がされたものに変化したことを示唆する。

1914–2009年における海域環境の変遷を考慮して1～5期に分けて復元した海藻相は、本州太平洋沿岸中部に分布の中心がある緑藻12種, 褐藻21種, 紅藻40種が各期に共通し、当海域は温帯性種が優占する海藻相であることを示した

(Tab. 1)。一方、1～2期にコナハダ属など亜熱帯種が一過性に生育分布し、4～5期にサイミヤキッコウグサなど異なる亜熱帯種が出現した。すなわち、1～2期におけるこれらの種の出現は、13.40°C(1期の冬季平均表面海水温の平均値)～14.69°C(2期の冬季平均表面海水温の平均値)への冬季平均表面海水温の短期的な上昇変動と海底の生育基質の変化が複合したことに因ると考えられ、また、4～5期におけるサイミなどの分布は、当海域の冬季平均表面海水温の上昇傾向を反映したものと考えられる(Fig. 3)。

このように変動があるものの95年間における館山湾の温帯性海藻相は、本州太平洋沿岸南部より低緯度の亜熱帯海域に分布の中心がある種が付加された海藻相へ変化したことを示した。このことは、冬季平均表面海水温の上昇傾向と同調しており、館山湾の海域環境の温暖化を示唆する。

また、館山湾・沖ノ島海域において、これまで報告がなかった固着性の海産動物である造礁サンゴのキクメイシモドキが確認され、1995年

にはエダミドリイシとキクメイシ属の1種の産卵が観察されている(内田2003)。そして、ニホンアワサンゴが有性生殖を行ない再生産していることが確認されており、動物相からも館山湾の海域環境が温暖化傾向にあることを示唆する(宮田2008)。

2. $[I/H]_{RCP}$ の変化と冬季平均表面海水温の変化

館山湾における95年間(1914–2009)の海藻相を時系列的に1～5期に分け、各期に出現した緑藻、褐藻、紅藻の種名と種数を調べて $[I]$ と $[H]$ の比率である $[I/H]_{RCP}$ を求めた(Fig. 3)。その結果、 $[I/H]_{RCP}$ は3.73(1期)から3.93(2期)に上昇し、さらに、0.63ポイント上昇して4.56(3期)となり、その後、4.77(4期)、4.95(5期)と上昇を続け、調査した95年間に3.73～4.95の範囲で上昇傾向にあった。 $[I/H]_{RCP}$ はその値が高いほど暖海性の海藻相を示すことから、館山湾の海藻相は、より温暖な海藻相に移行したことを示唆する。

一方、種の生育分布と海藻相に影響を与える外的環境要因である冬季平均表面海水温は、95年間のうち最低水温が11.80℃(1914)、最高水温が17.43℃(1994)であり、冬季平均表面海水温の各期の平均値は、1期:13.40℃、2期:14.69℃、3期:14.43℃、4期:16.19℃、5期:15.79℃と短期的な上下変動を含みながら長期的に全体として上昇傾向にあった。

館山湾における95年間の冬季平均表面海水温の変化傾向は(銚子地方気象台・館山測候所1914–1975、千葉県環境生活部水質保全課1976–2009)、 $[I/H]_{RCP}$ の変化と正の相関を認め、両者のピアソンの積率相関係数は0.86であり強い相関を示した(Fig. 3)。

すなわち、館山湾の95年間(1914–2009)の海藻相の時系列変化と冬季平均表面海水温の変動が相関することが示され、館山湾海域の海水温の変化が全体として上昇の傾向にあり、これに対応して暖海性の要素が優占する海藻相に亜熱帯要素が付加された海藻相に変化したことを示唆する。

本研究は、上述のように海藻の証拠標本が環境資料として有効であることを示した。海藻を環境資料として収集・保管するためには、定期的、かつ長期的に定点において採集を行うことが重要である。その対象領域は、海域の環境変動の変化を反映し、最も種の多様性が高く観察し易い潮間帯

～漸深帯上部の海藻相に注目し、種の生活史をも考慮した資料収集を行なう必要がある。

そして、保存された証拠標本から海藻相を復元する場合、資料の採集から標本作成、保管に至る過程で以下のような問題があることを検討すべきである。①種の同定は時代によって分類体系が変化するので再同定が必要である。また、乾燥標本のみからでは正確な同定ができない場合があり、液浸標本を考慮する。②標本の採集については、極端に大型あるいは微小で取り扱いにくい種、他の種に影響を及ぼし一括して扱えない種、採集してすぐに劣化してしまう種などは採集数が少なく、保存されにくいことを考慮する。③標本作成のためのさく用紙に収まらない大きさの種、粘性があって腐りやすい種、標本作成の後、形の崩れやすい種については標本数が少ないことを考慮する。

本研究の結果は、大学・博物館等に保存された海藻の証拠標本の調査、時系列的な海藻相の復元、時系列的な海藻相の変化と種の多様性の比較及び環境要因(海水温)との相関の解析、これら一連の過程を経て浅海域の水温環境の変動を推定できることを示し、海藻相を指標にした新しいモニタリング手法の可能性を示している。

また、これまで主として分類学的に用いられてきた証拠標本に環境資料としての新たな価値を与え、世紀を超えて収集・保管・蓄積されてきた膨大な量の多様な証拠標本が環境資料として、または環境指標として利用できることを示した。

本研究において、東京大学辻誠一郎教授にご指導いただきました。また、筑波大学千原光雄名誉教授からご助言を賜り、千葉県立中央博物館古木達郎博士に研究環境についてご配慮いただきました。そして、本稿にかかわる証拠標本調査においては、首都大学東京牧野標本館(MAK)、お茶の水女子大学湾岸生物教育研究センター(TATE)、東京大学(TI)、東京海洋大学藻類標本室(TUF)、千葉県立中央博物館(CBM)、国立科学博物館(TNS)、横須賀市自然・人文博物館(YCM)にご協力をいただきました。また、地形学的な館山湾の変遷に関する情報の提供を館山市立博物館から受けました。記してお礼申し上げます。この論文を、磯焼けと海域環境の変遷に関する研究に尽くされた、故谷口和也東北大学名誉教授に捧げます。

摘要

大学や博物館等に保存された海藻の証拠標本と現生の採集標本を用いて、房総半島南部・館山湾 (34.98°N, 139.86°E) における 95 年間 (1914–2009) の海藻相を時系列的に復元した。次に、海藻相の変化を温度環境の評価指数 $[I/H]_{RCP}$ (富塚ほか 2011) で示して表面海水温 (温度環境) の変化との相関を調べた。その結果、 $[I/H]_{RCP}$ の値が冬季平均表面海水温の上昇傾向と相関し、館山湾の海域環境の温暖化を示唆した。これは、海藻を用いた表面海水温のモニタリングの可能性を示し、過去に採集された証拠標本の環境資料としての有効性を確認した。

引用文献

- 千葉県 (編) 1922. 千葉県要覧「館山港」234pp. 千葉.
千葉県環境生活部水質保全課 1971–2009. 公共用水域及び地下水の水質測定結果, 千葉.
千原光雄 1958. 千葉県の海藻. 千葉県生物学会 (編), 千葉県植物誌. pp. 59–100. 千葉県生物学会, 千葉.
銚子地方気象台・館山測候所 1914–1940. 気象月表原簿, 千葉.
銚子地方気象台・館山測候所 1941–1949. 海洋観測原簿, 千葉.
銚子地方気象台・館山測候所 1950–1982. 海洋沿岸観測月表, 千葉.
東道太郎 1908. 有用藻類. 東道太郎, 妹尾秀実, 鐘ヶ江東作 (編). 日本魚介類図説. pp.147–224. 吉田光文堂, 東京.
東道太郎 1929. 江之島館山及其附近産海藻目録. 水産研究誌 24 (2): 1–4, 24 (3): 5–7, 24 (5): 9–10.
東道太郎 1935a. 江之島館山及其附近産海藻目録. 水産研究誌 30: 95–102.
東道太郎 1935b. 江之島館山及其附近産海藻目録 (改訂二). 水産研究誌 30: 148–158.
IPCC 2007. 気候変動に関する政府間パネル. 第 4 次評価報告書. 気候変動に関する政府間パネル (IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change).
岩永雅也, 大塚雄作, 高橋一男 2004. 社会調査の基礎. 285pp. 放送大学教育振興会, 東京.
神谷尚志 1922. 館山湾二於ケル海洋並ニ気象ノ観測. 水産講習所試験報告 18(2): 1–66.
菊地則雄 2011. 千葉県館山市坂田・波左間の海産植物相. 千葉中央博自然誌研究報告特別号 9: 25–36. 千葉県立中央博物館, 千葉.
菊地則雄, 川名興, 宮田昌彦, 富塚朋子 2007. 房総半島南部大房岬の海産植物相. 千葉中央博自然誌研究報告 9: 11–23. 千葉県立中央博物館, 千葉.
Levitus S., Antonov J. and Boyer T. 2005. Warming of the world ocean, 1955–2003. Geophys. Res. Lett. 32. L02604. doi: 10.1029/2004 GL021592.
McNeill J., Barrie F.R., Burdet H.M., Demoulin V., Hawksworth D.L., Marhold K., Nicolson D.H., Prado J., Silva P.C., Skog J.E., Wiersma J.H., Members Turland N.J. and Secretary of the Editorial Committee. (eds.) 2006. International Code of Botanical Nomenclature (Vienna Code). The Seventeenth International Botanical Congress Vienna, Austria, July 2005. 568 pp. Koeltz Scientific Books. Germany.
宮田昌彦 1993. III. 海藻 (海洋生物: 海藻). 千葉県自然環境調査会 (編), 自然公園自然環境調査報告書. 南房総国定公園 (丸山町～富津市). 県立富山自然公園. pp. 65–67. 千葉県環境部自然保護課, 千葉.
宮田昌彦 1998. 第 4 章. 千葉県の藻類の生態. 第 3 節. 海の藻類. 4. 干潟の海藻と海草, 第 5 章 Chapter 5. 千葉県の藻類. 第 2 節 2. 紅藻植物門. 6. テングサ目; 7. サンゴモ目; 8. ペニマダラ目. 千葉県史料研究財団 (編), 千葉県の自然誌本編 4. (1999) 千葉県の植物 1—細菌類・菌類・地衣類・藻類・コケ類. 千葉県史本編 4. pp. 282–288, 512–537. 千葉県, 千葉.
宮田昌彦 2008. 海水温の上昇と海洋生物の分布—館山湾の固着性生物に注目して—. 岩槻邦男, 堂本暁子 (編), 温暖化と生物多様性. pp. 93–112. 築地書館, 東京.
宮田昌彦, 吉崎誠, 南雲保 1997. 第 6 章. 海藻と海草. 沼田眞, 風呂田利夫 (編), 東京湾の生物誌. pp. 156–189. 築地書館, 東京.
宮田昌彦, 菊地則雄, 千原光雄 2002. 千葉県産大型海産藻類目録. 千葉中央博自然誌研究報告特別号 5: 9–57. 千葉県立中央博物館, 千葉.
Miyata M., Tomizuka T., Suzuki A., Hatanaka T. and Utsumi S. 1999. Marine algae and plants of Tateyama Bay in Boso Peninsula, Japan. Bull. Fac. Educ., Chiba Univ. 47 (III: Natural Sciences): 41–53.
日本水産資源保護協会 1972. 水産環境水質基準. 87pp. 日本水産資源保護協会, 東京.
日本水産資源保護協会 1992. 環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための『判断基準』と『事例』. 104pp. 日本水産資源保護協会, 東京.
日本水産資源保護協会 2006. 水産用水基準 (2005 年版). 95pp. 日本水産資源保護協会, 東京.
小倉紀雄 1997. 東京湾における水質変遷. 海洋と生物 109(19 no.2): 94–97.
Ohba, H., T. Konno, T. Ioriya, M. Notoya and Miura A. 1988. Marine algae from Banda, Tateyama, Chiba Prefecture. J. Tokyo Univ. Fish. 75: 405–413.
岡本一彦 1963. 東道太郎コレクションの海藻標本目録 [I]. 藻類 11(3): 16–23.
岡本一彦 1964. 東道太郎コレクションの海藻標本目録 [II]. 藻類 12(2): 13–20.
岡本一彦 1965. 東道太郎コレクションの海藻標本目録 [III]. 藻類 13(1): 23–29.
大西一博 1975. 館山臨海実験所付近の海藻. お茶の水女子大学臨海研究報告 2: 17–90.

- 館山市立博物館 2002. 鏡ヶ浦をめぐる歴史. 58 pp. 館山市立博物館, 千葉.
- 館山市史編さん委員会 (編) 1971. 館山市史. 1094 pp. 館山市, 千葉.
- 寺田良一 2001. 地球環境意識と環境運動—地域環境主義と地球環境—. 飯島伸子 (編), 講座 環境社会学第 5 巻 アジアと世界—地域社会からの視点. 269 pp. 有斐閣, 東京.
- 富塚朋子, 岩槻邦男, 宮田昌彦 2011. 緑藻, 褐藻, 紅藻の生活史と分布にもとづく海藻相の新しい評価指数 [I/H]_{RCP}. 植物研究雑誌 **86**(5): 287–293.
- 津田藤典, 吾妻行雄, 谷口和也 2006. 北海道における磯焼けの歴史と現状. 月刊海洋 **38**(3): 201–215.
- 内田絃臣 2003. 千葉県史料研究財団 (編), 千葉県の自然誌資料・千葉県産動物総目録. pp. 14–19. 千葉県, 千葉.
- 吉田忠生, 吉永一男 2010. 日本産海藻目録 (2010 年改訂版). 藻類 **58**: 69–122.